

Рис. 4. Внесение изменений в таблицу Клиенты

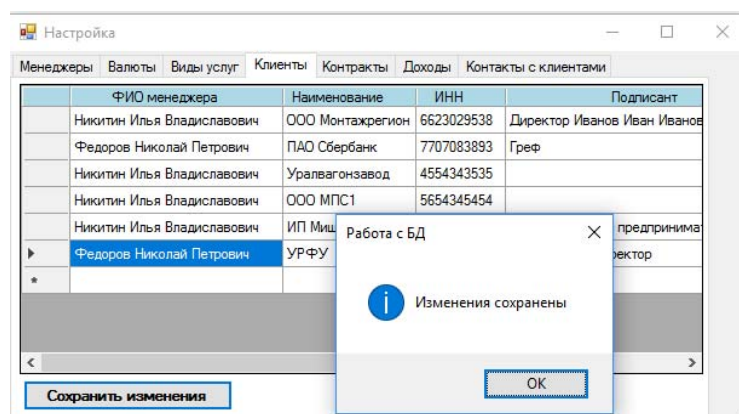


Рис. 5. Сохранение изменений в таблице Клиенты

Список использованных источников

1. Избачков Ю.С., Петров В.Н. CRM системы. – СПб.: Питер, 2008. – 656 с.
2. Гайдамакин Н.А. Автоматизированные информационные системы, базы и банки данных / Н.А. Гайдамакин. – М.: «Гелиос АРВ», 2002. – 97 с.
3. Брауде Э. Технология разработки программного обеспечения; пер. с англ. / Э. Брауде. – СПб.: Питер, 2004. – 655 с.
4. SQL [Электронный ресурс]. Википедия: свободная энциклопедия. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/SQL>.

УДК 536.2

В. Н. Черных, П. А. Илюхин, Т. Ф. Шагабутдинов, А. М. Дубинин, М. А. Денисов
 ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

СРАВНИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ АДЕКВАТНОСТИ РАСЧЕТОВ РЕКУПЕРАТОРА В ПАКЕТАХ ИНЖЕНЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация

В работе проведено сравнительное моделирование процесса теплообмена в секционном рекуператоре типа «труба в трубе» параллельно в трех пакетах инженерного моделирования: ANSYS CFX, ANSYS Fluent и SolidWorks Flow Simulation. Для построения процесса в различных пакетах использовалась одна геометрическая модель теплообменника, состоя-

щая из четырех доменов, и задавались одинаковые краевые условия и начальные параметры теплоносителей. Моделирование процесса проводилось с заданием критериев и опций, максимально схожих в представленных трех пакетах. Для проверки адекватности полученных посредством моделирования результатов проведен инженерный расчет, согласно методикам, используемым проектными и исследовательскими организациями. В ходе сравнения данных, полученных при моделировании процесса теплообмена, определялось расхождение расчетов в указанных программных пакетах с данными инженерного расчета.

Ключевые слова: рекуператор, теплообмен, пакет инженерного моделирования, температура, сравнение, расчет, параметры.

Abstract

In the issue, a comparative modeling of the heat exchange process in a sectional recuperator of the "pipe-in-pipe" type was carried out in parallel in three packages of engineering modeling: ANSYS CFX, ANSYS Fluent and SolidWorks Flow Simulation. To construct the process in different packages, one geometric model of the heat exchanger consisting of four domains was used, and the same boundary conditions and initial parameters of the heat carriers were set. Simulation of the process was carried out with the specification of the criteria and options that are the most similar in the three packages presented. To verify the adequacy of the results obtained by modeling, engineering calculations were carried out, according to the methods used by the design and research organizations. In the course of comparison of the data obtained during the modeling of the heat exchange process, the discrepancy between the calculations in the specified software packages and the engineering calculation data was determined.

Keywords: recuperator, heat exchange, engineering modeling package, temperature, comparison, calculation, parameters.

На кафедре теплоэнергетики и теплотехники УралЭНИИ УрФУ разрабатывается учебно-справочный комплекс моделей для научных и инженерных расчетов базовых объектов технической теплофизики и система тестирования их адекватности. Модели разрабатываются магистрантами кафедры при проведении учебных занятий по курсу «Научные и инженерные расчеты в современных компьютерных программах». Решения задач, как правило, выполняются с одной геометрической моделью и одинаковыми краевыми условиями, но параллельно в нескольких пакетах инженерного моделирования: ANSYS CFX, ANSYS Fluent и SolidWorks Flow Simulation. Планируются параллельные решения в открытых пакетах инженерного моделирования. Такая постановка задач обеспечивает возможность сравнительного анализа результатов решения в разных кодах с последующим тестированием адекватности решений сравнением с экспериментом. Одной из главных целей исследования является проверка точности расчетов технических объектов по известным инженерным методикам, используемым проектными и исследовательскими организациями. Работа продолжает исследования [1, 2] в расширенной постановке задач.

В данной публикации рассматривается пример решения одной из базовых задач учебно-справочного комплекса: модель тепловой работы секционного теплообменного аппарата типа «труба в трубе». Модель представлена в виде двух секций, как показано на рисунке 1, и рассматривается как 4-х доменная задача: горячий теплоноситель (вода), разделяющая стенка, холодный теплоноситель (вода) и кожух.

При моделировании процесса теплообмена внешняя стенка кожуха задавалась адиабатной, и следовательно, тепловые потери в окружающую среду не учитывались.

Для проверки адекватности полученных при моделировании результатов был проведен инженерный расчет теплообменного аппарата в соответствии с методикой расчета секционного рекуператора. Теплофизические свойства теплоносителей выбирались по их средним температурам, материал разделительной стенки и кожуха – медь.

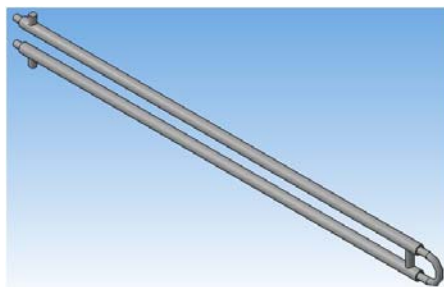


Рис. 1. Модель секционного теплообменного аппарата

В основе расчета процесса теплопередачи лежат формулы и константы, полученные эмпирическим путем. Так, для определения коэффициента теплоотдачи α_1 для горячего теплоносителя использовалась эмпирическая формула [3]:

$$\alpha = \frac{d}{\lambda} \cdot Nu = \frac{d}{\lambda} \cdot 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr_{ж}^{0,43} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_c} \right)^{0,25}, \text{ где} \quad (1)$$

$Nu, Re, Pr_{ж}, Pr_c$ – безразмерные числа Нуссельта, Рейнольдса и Прандтля соответственно;

d , мм – внутренний диаметр для прохождения теплоносителя;

λ , Вт/(м · К) – коэффициент теплопроводности для жидкости.

Основная цель инженерного расчета заключалась в определении выходных параметров теплоносителей и, соответственно, в достижении равенства тепловых мощностей, рассчитываемых по уравнениям теплового баланса и теплопередачи. Далее производилось моделирование теплового процесса в соответствующем пакете с установлением одинаковых начальных параметров теплоносителей и краевых условий.

В пакете инженерного моделирования ANSYS CFX взаимодействие между доменами задавалось посредством интерфейсов. В данной работе использовался тип интерфейса «Fluid Solid», то есть, задавалась связь между жидким теплоносителем (горячей или холодной водой) и медной разделительной стенкой и устанавливались параметры теплообмена между ними. Для потоков была задана модель турбулентности «QI Reynolds Stress», которая с достаточной степенью точности определяет недостающие значения параметров течения и описывает его характер. Результаты моделирования процесса теплообмена в секционном рекуператоре показаны на рис. 2.

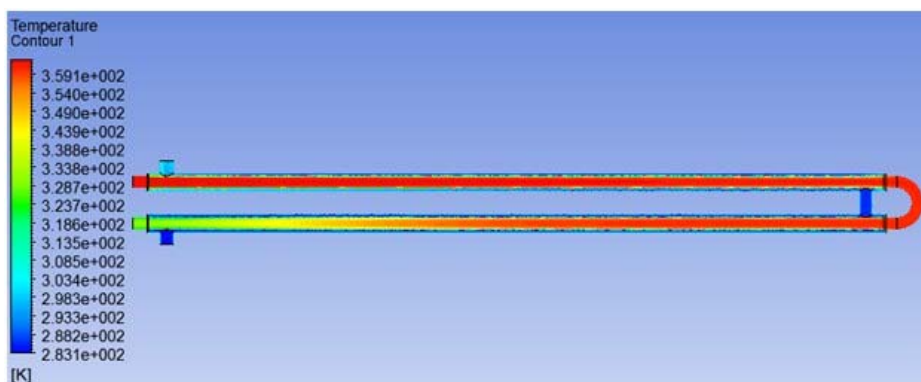


Рис. 2. Температура теплоносителей по сечению секционного теплообменного аппарата, определенная в программе ANSYS CFX

В пакете инженерного моделирования ANSYS Fluent взаимодействие между доменами также задавалось с помощью интерфейсов, использующиеся для связывания поверхностей горячего или холодного теплоносителя и разделительной стенкой. Для каждой из стенок доменов заданы термические условия "Convection". Материал разделительной стенки – медь, теплоносители – вода/вода. Результаты моделирования процесса в данном пакете показаны на рис. 3.

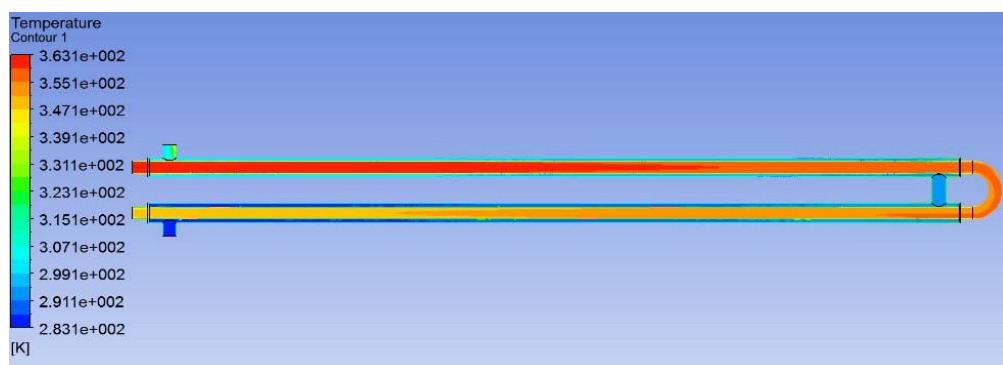


Рис. 3. Температура теплоносителей по сечению секционного теплообменного аппарата, определенная в программе ANSYS Fluent

SolidWorks Flow Simulation – универсальное расширение программного комплекса САПР SolidWorks для исследования теплопередачи и гидрогазодинамики различных потоков. В отличие от предыдущих пакетов при анализе рекуператора использовалась измененная модель, более приближенная к реальному теплообменному аппарату, исключая "solid-полости" для прохода теплоносителей. При настройке решения была выбрана внутренняя задача, а основными видами переноса теплоты – конвекция и теплопроводность. Материал теплообменной поверхности и ее шероховатость, а также параметры теплоносителей на входе в аппарат и выходе из него были приняты входными данными. Результат моделирования показан на рис. 4.

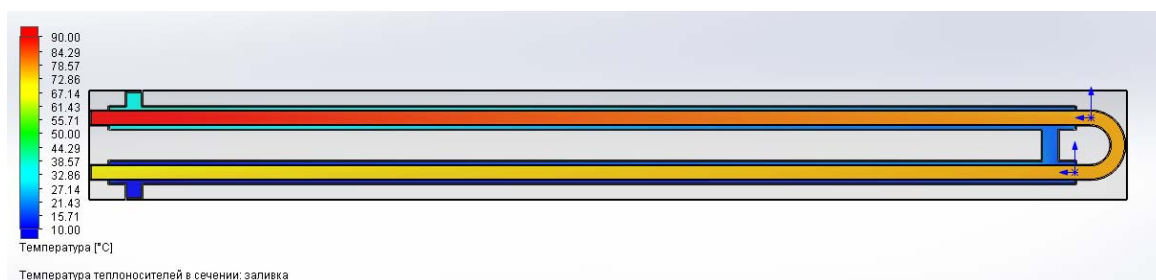


Рис. 4. Температура теплоносителей по сечению секционного теплообменного аппарата, определенная в программе SolidWorks Flow Simulation

Параметры теплоносителей, полученные в результате расчетов, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Выходные параметры теплоносителей

Параметр	Использованный метод инженерного моделирования			
	Расчет	Пакет ANSYS CFX	Пакет ANSYS Fluent	Пакет SolidWorks Flow Simulation
Средняя температура охлаждаемого теплоносителя на выходе из теплообменного аппарата, °C	74,13	61,07	68,47	76,01
Средняя температура нагреваемого теплоносителя на выходе из теплообменного аппарата, °C	31,15	29,93	37,48	30,27

Таким образом, параметры, наиболее близкие к расчетным значениям температур, были получены в программе SolidWorks Flow Simulation, результаты двух других программ от-

личаются от инженерного расчета в большей степени, что приводит к необходимости введения дополнительных поправок, но не делает их менее востребованными при инженерном анализе теплофизических процессов.

Список использованных источников

1. Денисов М.А. Учебно-справочный комплекс тепловых расчетов в пакете ANSYS Multiphysics для проектирования в металлургии // Создание высокоэффективных производств на предприятиях горно-металлургического комплекса. – Екатеринбург: Уральский рабочий, 2013. – С. 93–94.
2. Денисов М.А. Разработка учебно-справочного комплекса проектного моделирования в пакете ANSYS Workbench // Создание высокоэффективных производств на предприятиях горно-металлургического комплекса. – Екатеринбург: Уральский рабочий, 2013. – С. 95–96.
3. Королев В.Н. Тепломассообмен: учебное пособие / В.Н. Королев. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2006. – 300 с.

УДК 669.162.263

В. С. Швыдкий¹, А. Р. Фатхутдинов¹, Н. А. Спири¹, С. Е. Шихов²

¹ ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

² ПМК ОАО «Уралэлектромедь», г. Верхняя Пышма, Россия

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОЙ РАБОТОЙ ШАХТНОЙ ПЕЧИ

Аннотация

В данной работе рассмотрены разработка и внедрение системы автоматического управления тепловой работой шахтной печи для переплавки медных катодов на основе математической модели. Статья подробно описывает актуальность и предпосылки для разработки указанной информационной системы, а также этапы ее внедрения в действующее производство. Анализ критериев работы системы, выполненный совместно с технологами ПМК АО «Уралэлектромедь», показывает улучшение показателей энергоэффективности работы оборудования.

Ключевые слова: шахтная печь, расплав, математическая модель, автоматическое управление, ПИД-регулятор.

Abstract

In this work the design and implementation of the automatic control system thermal operation of the shaft furnace for melting copper cathodes based on a mathematical model. The article describes the relevance and prerequisites for the development of this information system, as well as the stages of its implementation into existing production. The analysis of the system criteria, made together with technologists of PMK "Uralelectromed" indicates improvement in energy efficiency of the equipment.

Keywords: shaft furnace, melt, mathematical model, automatic control, PID controller.

Шахтная печь Asarco – слоевой агрегат, предназначенный для переплавки медных катодов и входящий в состав линии по производству медной катанки ЗАО «СП Катур-Инвест» (с 2016 года – ПМК ОАО «Уралэлектромедь»).

Печь представляет собой шахту, футерованную огнеупорным карбидокремниевым кирпичом (рис. 1). Загрузка материала осуществляется сверху через загрузочное окно при